

Wolfgang Weller

Vollautarke solar betriebene Inselnetze mit integrierter Wasserstofftechnologie

– ein Lösungsvorschlag –

Die klassische Lösung

Eine wesentliche Erscheinung im Zusammenhang mit der Energiewende ist die zunehmende Einrichtung von Inselnetzen im Bereich von Wohneinheiten und gewissen Produktionsstätten zum Zweck einer weitgehenden Eigenversorgung mit selbst erzeugtem Solarstrom. Der Einsatz von Photovoltaikanlagen führt dabei zu dem Problem, dass die Stromerzeugung aus dieser Quelle erheblichen Fluktuationen unterliegt, die ihre Ursache in wetter- und tageszeitlichen Einflüssen haben. Somit sind systeminterne Ausgleichsmaßnahmen erforderlich, um eine durchgängige Deckung des ebenfalls in weiten Grenzen variierenden Energiebedarfs zu gewährleisten. Dazu dient vor allem die Integration eines eigenen Stromspeichers. Bei entsprechender Bemessung der Komponenten und sachgerechtem Energiemanagement gelingt dann im Normalfall eine energetische Eigenversorgung der betreffenden Wohnanlage. Dennoch können Situationen auftreten, in denen das Energiegleichgewicht aus eigenem Aufkommen nicht mehr hergestellt werden kann. So kann es beispielsweise im Sommer und bei anhaltendem Hochdruckwetter zu einem Überangebot an Ökostrom kommen, der zur Überlastung des Inselnetzes führen könnte. Auch das Gegenstück, eine ungenügende Gewinnung von Solarstrom, kann besonders im Winter sowie bei länger andauernder Wolkenbedeckung des Himmels auftreten, sodass der Bedarf nicht mehr voll gedeckt werden kann. Zur Sicherstellung der Energieversorgung sind in solchen Fällen somit weitere Maßnahmen erforderlich.

Gemäß der bisherigen Handhabung solcher Ungleichgewichte werden externe Hilfen in Anspruch genommen, deren bisher wichtigste die Kopplung mit dem Öffentlichen Stromnetz ist. So wird bei einem Überschuss der nicht verbrauchte Strom in das öffentliche Netz abgeleitet. Diese Stromabnahme ist staatlicherseits garantiert und wird dank gewährter Förderung sogar noch vergütet. Damit ist zugleich gewährleistet, dass Schäden im Inselnetz durch Überlastung vermieden werden. Umgekehrt wird auch bei Strommangel eine Verbindung zum Öffentlichen Netz hergestellt, um das Defizit in diesem Fall durch einen, in diesem Fall kostenpflichtigen Strombezug auszugleichen.

Die hier genannten externen Ausgleichsmaßnahmen setzen die Zugänglichkeit zum Öffentlichen Stromnetz voraus, was in entlegenen Gegenden oft nicht gegeben ist. Außerdem ist damit keinesfalls gewährleistet, dass ein externer Strombezug regenerativen Quellen entstammt. Somit leistet der derzeit vorwiegend genutzte netzgekoppelte Betrieb von solarbetriebenen Inselnetzen zwar einen beachtlichen Beitrag zur Energiewende, erfüllt aber immer noch nicht alle Wünsche eines energieautarken Betriebs. Daher besteht durchaus noch ein unausgeschöpftes Potenzial für weitere Verbesserungen getreu dem Slogan: „Gutes kann immer noch verbessert werden“. Dazu wollen wir mit dem nachfolgend dargelegten Vorschlag einen Beitrag leisten.

Darlegung des neuen Lösungsvorschlags

Unserer Lösungsidee sei als Prämisse der Verzicht auf externe Maßnahmen zum Ausgleich sowohl eines Überangebots als auch Mangels an selbsterzeugtem Ökostrom in Inselnetzen vorangestellt. Demnach soll die Versorgung von Wohneinheiten mit regenerativ erzeugtem Strom auch in Extremfällen aus *eigenem* Aufkommen gelingen. Damit wird eine vollständige Energieautarkie als Ziel angestrebt.

Bei der Suche nach Lösungsansätzen müssen wir einerseits Umschau nach systemintern bestehenden Möglichkeiten halten, um in besonderen Fällen auftretenden Situationen des Strommangels zu

begegnen, wie umgekehrt, ggfs. anfallenden überschüssigen Strom aufzunehmen. Im Kern werden sich also unsere diesbezüglichen Bemühungen sowohl auf die Bereitstellung einer in Krisenfällen einsetzbaren eigenen regenerativen Quelle zur Gewinnung von Hilfsenergie als auch einer dazu passenden Möglichkeit des Verbrauchs von überschüssigem Strom richten müssen,

Unser Lösungsvorschlag zielt auf den Einsatz der *Wasserstoff-Technologie* zur Substitution der bisherigen Lösung auf der Basis eines Anschlusses an das Öffentliche Stromnetz. Dafür gibt es mehrere Gründe. Zum einen lässt sich Wasserstoff auf elektrohydrolytischem Weg mittels einer *Hydrolyseanlage* aus Wasser unter Anwendung von elektrischem Strom erzeugen, wofür im vorliegenden Fall überschüssiger Solarstrom genutzt werden kann. Das auf diese Weise erzeugte Wasserstoffgas besitzt eine hohe Energiedichte und ist gut speicherbar. Damit verfügt das vorgesehene ausschließlich mit regenerativer Energie betriebene Inselnetz über einen zweiten Energiespeicher von hoher Effizienz, der im Bedarfsfall in Anspruch genommen werden kann. Für die Rückgewinnung von Elektroenergie finden *Brennstoffzellen* Verwendung [2]. Hierbei handelt es sich um galvanische Zellen, welche die Energie eines chemischen Trägers, im vorliegenden Fall also von Wasserstoff, unter Mitwirkung von Sauerstoff als Oxydator mit hohem Wirkungsgrad in elektrischen Strom verwandeln. Der Aufbau von Brennstoffzellen wird durch zwei Elektroden bestimmt, zwischen denen sich eine Membran bzw. ein Elektrolyt befindet. Der Einsatz von Brennstoffzellen bietet mehrere Vorteile, da diese im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren ohne bewegliche mechanische Komponenten auskommen, schwingungsfrei und geräuschlos arbeiten und ein umweltfreundliches Abprodukt in Form von Wasser liefern. Damit entstehen Null-Emissionen. Die vorgesehene Brennstoffzelle tritt bei auftretendem Strommangel im Inselnetz in Aktion und unterstützt somit die Versorgung im Inselnetz. Damit sind Brennstoffzellen für unsere Zwecke offenbar bestens geeignet.

Für den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie zeichnen sich derzeit zwei Haupteinsatzgebiete ab. Dazu zählt einerseits die *Automobilbranche*. Hier wird die Anwendung von Brennstoffzellen bei der Entwicklung von Elektromobilen als eine der Möglichkeiten zur Generierung des benötigten Fahrstroms gesehen. Der erzeugte Fahrstrom wird in diesem Falle für Antriebszwecke genutzt, wobei vor allem der abgasfreie Betrieb dieser Fahrzeuge von besonderem Interesse ist.

Hier interessieren wir uns insbesondere für den zweiten Anwendungsschwerpunkt: den *Wohnbereich* von Menschen. Wie den entsprechenden Quellen zu entnehmen ist, beschäftigen sich inzwischen die großen Anbieter für Heizungstechnik, wie *Viessmann* und *Vaillant*, mit dem Einsatz von Brennstoffzellen in Wohnanlagen, wobei allerdings die Verwendung für Heizungszwecke im Vordergrund steht. Die Eignung der Brennstoffzellentechnologie im häuslichen Alltagseinsatz wurde in einem von der Bundesregierung geförderten sog. *Callus-Test* untersucht und erbrachte offenbar ein recht ermutigendes Ergebnis [2]. Dabei zeigte sich, dass recht unterschiedliche Lösungen verfolgt werden.

Zu den bisher verfolgten Möglichkeiten zählt die vollständige, dem aktuellen Bedarf angepasste Eigenstromerzeugung unter Verwendung einer im häuslichen Keller installierten Brennstoffzellenanlage in Verbindung mit einem Hochdruckspeicher für den als Brennstoff benötigten Wasserstoff.

Wir hingegen bevorzugen eine Lösung, bei der der von einer Brennstoffzelle erzeugte Strom nur bei dringendem Bedarf, also hilfsweise, in Anspruch genommen wird. Dazu werden Kleinanlagen dieser Geräte benötigt. Wie einer diesbezüglichen Recherche zu entnehmen ist, gibt es derzeit mit 52 Anbietern durchaus beachtliches kommerzielles Angebot an Mini-Brennstoffzellen [3]. Der Leistungsumfang liegt im Bereich von 5 – 10 kW und die Kosten zwischen 1.500 – 5.000 € [3], [4], [5]. Es ist zu vermuten, dass bei der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) unter dem Titel *Zuschuss Brennstoffzelle* eine Förderung der entstehenden Investitionskosten beantragt werden kann.

Der Einsatz der Mini-Brennstoffzellen soll in Kombination mit einem *Wasserelektrolyseur* erfolgen, der den benötigten Wasserstoff liefert. Wie manchem noch aus dem Chemieunterricht Erinnerung sein

wird, lässt sich in Wasser, welches durch Zusatz eines Elektrolyten leitfähig gemacht wurde, bei Anlegen einer Gleichspannung zwischen zwei Elektroden eine Ionenwanderung erzeugen. Dabei reichert sich molekularer Wasserstoff H_2 an der Kathode (Minuspol) und Sauerstoff O_2 an der Anode (Pluspol) an. Die Wasserelektrolyse wird bei einem Überangebot von selbsterzeugtem Solarstrom aktiviert, und kann diesen damit sinnvoll nutzen [6].

Für die Wasserelektrolyse wurden verschiedene Verfahren entwickelt, unter denen die alkalische Elektrolyse für unsere Zwecke als besonders geeignet erscheint. Hierzu gibt es auch die meisten Produktangebote, worüber in [7] eine Übersicht geboten wird.

Der von einer Wasserelektrolyse-Anlage produzierte Wasserstoff ist ein wertvoller Energieträger von hoher Energiedichte, der effektiv und langfristig gespeichert werden kann. Für den betrachteten Einsatzzweck eignen sich insbesondere Wasserstoff-Kartuschen, wie sie beispielsweise unter der Bezeichnung *MyFC PowerTrek-Puck* von der Firma *Conrad Elektronik SE* für wenig Geld angeboten werden. Für die Betankung wird noch ein entsprechendes Ladegerät benötigt, das ebenfalls kommerziell im Angebot steht [8].

Der gespeicherte Wasserstoff dient in unserem Fall zum intermittierenden Betreiben der Brennstoffzelle, indem er diesen sozusagen „verstromt“. Der dabei ebenfalls anfallende Sauerstoff wird, sofern es für ihn keine andere Verwendung gibt, an die Umgebungsluft abgegeben. Das Abprodukt der Brennstoffzelle ist Wasser, das in einem Behälter aufgefangen und dem Wasserelektrolysator wieder zugeführt wird. Die Zusammenschaltung eines mit Solarstrom betriebenen Wasserelektrolysators, einem Wasserstoffspeicher und einer betriebsgesteuerten Brennstoffzelle stellt somit eine nahezu perfekte Kombination dar, um überschüssigen Solarstrom sinnvoll zu nutzen und andererseits auftretendem Strommangel auf ökologische Art entgegenzuwirken. Die vorgestellte Anordnung bietet eine Alternativlösung zur bisherigen Netzanbindung solar gespeister Inselnetze, bei der garantiert nur Ökostrom im Spiel ist.

Erläuterung des Gesamtkonzepts

Die bisherigen Ausführungen waren vor allem der Darlegung des innovativen Teils der Problemlösung gewidmet. Nun aber soll verdeutlicht werden, wie dieser Zusatz in die Gesamtlösung für solar betriebene Inselnetze mit vollständiger Eigenversorgung eingebunden ist und mit diesem zusammenwirkt. Angesichts der zu erwartenden Komplexität der Anordnung sind wir um eine möglichst verständliche Darstellung bemüht, wofür eine Grafik eine geeignete Grundlage bietet. Die etwas unkonventionelle Darstellung ist in **Abb. 1** angegeben und bedarf noch der Erläuterung.

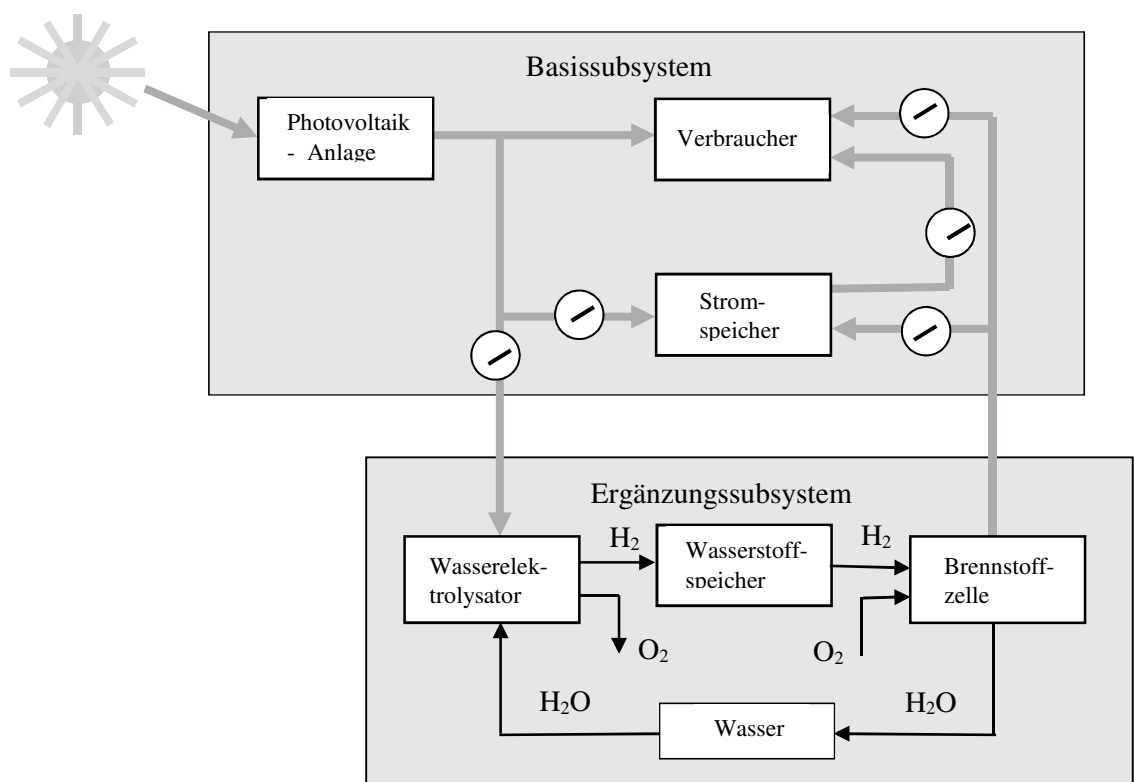


Abb. 1 vereinfachte Darstellung der vorgeschlagenen Struktur vollständig autarker Inselnetze

Zunächst ist erkennbar, dass die Anordnung zwei Teilsysteme enthält, die hier *Basissubsystem* und *Ergänzungssystem* genannt werden. Jedes dieser Subsysteme besteht aus mehreren Komponenten, zwischen denen bedarfsweise elektrische Energieflüsse in der dargestellten Richtung ausgetauscht werden. Diese Energieflüsse sollen hier durch graue gepfeilte Linien veranschaulicht werden. Die Möglichkeit der Freigabe dieser Strompfade wird in der Grafik durch Kreise symbolisiert, die Schalter symbolisieren sollen. Die zugehörigen Stelleingriffe erfolgen durch Auswertung des momentan vorliegenden Systemzustands. Dieser Zustand wird durch mehrere Signale erfasst, deren erzeugende Sensoren aus Übersichtsgründen in der Grafik nicht enthalten sind. Aus gleichem Grund wurde auch auf die Veranschaulichung der verschiedentlich notwendigen Wechselrichter verzichtet, welche für die Wandlung des gewonnenen Gleichstroms in verbrauchergerichten Wechselstrom des jeweiligen Potenzials benötigt werden.

Beide Subsysteme haben unterschiedliche Aufgabenstellungen zu erfüllen. Dazu ist das oben angeordnete *Basissubsystem* für die weitgehende Eigenversorgung des Inselnetzes mit Ökostrom im Normalbetrieb zuständig. Die Kapazitäten von Photovoltaikanlage und Stromspeicher sollen soweit austariert sein, dass der im Inselnetz bestehende Strombedarf trotz der Fluktuationen der Solarstromerzeugung im Normalbetrieb unter Vorhaltung einer kleinen Reserve abgedeckt wird.

Der von der Photovoltaikanlage abgegebene Strom wird vorzugsweise zur Deckung des internen Verbrauchs genutzt. Sofern weiterer Ökostrom zur Verfügung steht, wird dieser zur Ladung des Stromspeichers eingesetzt, soweit dessen Kapazitätsgrenze noch nicht erreicht ist. Bei Energiemangel wird zunächst versucht, das Defizit durch Stromentnahme aus dem Akku zu kompensieren, sofern dessen Ladung noch nicht erschöpft ist.

Sind alle internen Möglichkeiten des Ausgleichs ausgeschöpft, so kommt das vorgeschlagene *Ergänzungssystem* zum Einsatz. Seine Funktion basiert auf dem Einsatz der Wasserstofftechnologie, sodass neben der unmittelbaren Speicherung von Strom auch die Akkumulation des energiereichen Wasserstoffgases genutzt wird. Dieses Subsystem tritt einerseits bei einem *Überschuss* an Ökostrom in Aktion, indem diese Energie zur Erzeugung des Mediums *Wasserstoff* eingesetzt wird. Dieses Gas wird von einem Elektrolysator durch Spaltung von ionisiertem Wasser erzeugt, wobei neben molekularem Wasserstoff H_2 auch Sauerstoff O_2 entsteht. Der bei diesem Prozess verbrauchte Strom schützt zugleich das Inselnetz vor Überlastung. Der gewonnene Wasserstoff wird als wertvolle zusätzliche Energiequelle in einem Gasspeicher zwischengelagert, auf den in extremen Bedarfssituationen zurückgegriffen werden kann. Die Komponente Sauerstoff wird hingegen an die Atmosphäre abgegeben.

Das Ergänzungssystem tritt ebenfalls in Funktion, wenn es, etwa bei extremen Wettersituationen oder unerwartet hohem Energiebedarf, zu einer *Mangelsituation* kommt, die vom Basissystem nicht mehr ausgeglichen werden kann. Der fehlende Strom wird in solchen Fällen von der Brennstoffzelle erzeugt, die den dazu benötigten Wasserstoff aus dem Gasspeicher entnimmt. Der ebenfalls erforderliche Sauerstoff wird aus der Umgebung bezogen. Die Brennstoffzelle liefert aus diesen Komponenten den benötigten Gleichstrom unter Abgabe von Wasser. Diese zusätzliche Stromlieferung ermöglicht dann, das Energiegleichgewicht im Inselnetz auch in Extremfällen zu gewährleisten. Mit dem Rückgang der Mangelsituation wird die Brennstoffzelle wieder stillgesetzt.

Die hier geschilderte Betriebsweise verlangt ein entsprechendes Energiemanagement, das durch eine anspruchsvolle Automatik mit intelligentem Verhalten realisiert wird. Ihre funktionelle Beschreibung übersteigt jedoch den hier vorgegebenen Rahmen.

Es mag noch die Frage aufkommen, ob man mit den vorstehend geschilderten Maßnahmen hinreichend für extreme Notfälle gerüstet ist. Diese liegen weitgehend in der Hand von Personen in den Wohnanlagen. Dazu seien folgende Notmaßnahmen empfohlen: Die einfachste Art, mit einem langdauernden Überangebot von Solarstrom fertig zu werden, ist die künstliche Erhöhung des Verbrauchs. Möglichkeiten dazu sind die Einschaltung von an sich unnötigen Beleuchtungen oder die Umwandlung von Strom in Wärme. Längerfristigem Strommangel kann man wiederum am einfachsten durch eine möglichst drastische Senkung des Verbrauchs begegnen. Zu den Kandidaten gehören insbesondere Großverbraucher, wie Waschmaschine, Trockner und Geschirrspüler, deren Betrieb dann auf „bessere“ Zeiten verschoben wird. Die Ganzvorsichtigen mögen noch eine zusätzliche Vorsorge treffen, indem sie einige der preiswerten Wasserstoffkartuschen gefüllt in Bereitschaft halten. Diese können im Notfall die Brennstoffzelle speisen, um zusätzlichen Strom zu erzeugen.

Die hier dargebotene Konzeption ermöglicht die Realisierung von Inselnetzen, die ausschließlich mit regenerativer Energie aus solaren Quellen betrieben werden und dabei vollständig energieautark sind. Damit eröffnen sich neue Horizonte für den Einsatz solcher Systeme. Dies wurde vor einiger Zeit u. a. auch von der Weltraumtechnologie erkannt, welche auch zu den Erstanwendern der Brennstoffzellen-Technologie gehört. Diese Technologie eignet sich möglicherweise auch für die energetische Versorgung künftiger Stationen auf Himmelskörpern. Auf der Erde eröffnen sich hingegen Nutzungsmöglichkeiten in dünn besiedelten Gebieten, auf Inseln sowie in mobilen Gefährten. Die vorgestellte Lösungskonzeption böte auch die Möglichkeit der Entwicklung sich selbst versorgender energieautarker Kapseln, die bei Expeditionen überall in der Welt abgesetzt werden können.

Fazit

Die vorstehenden Ausführungen waren auf das Bemühen gerichtet, eine tragfähige Lösung für Energiesysteme vorzuschlagen, die vorzugsweise im Home-Bereich einsetzbar sind, sich mit Ökostrom komplett selbst versorgen und somit vollständig energieautark sind. Dazu war es vor allem nötig, die bisher in Sonderfällen genutzte Unterstützung durch bedarfsweisen Anschluss an das Öffentliche Stromnetz aufzugeben und dafür eine geeignete systemeigene Ersatzlösung zu finden.

Dies wiederum erforderte, Lösungen für auftretende Notfälle anzubieten, die in der Lage sind, sowohl ein ggfs. auftretendes Überangebot an Ökostrom aufzunehmen als auch in Mangelsituationen Ersatz durch systemeigene Stromerzeugung zu bieten. Dies gelang im vorliegenden Fall durch Integration eines Teilsystems auf der Basis der Wasserstofftechnologie. Die vorstehenden Darlegungen gehen über eine bloße Konzeption hinaus, indem zu bestimmten benötigten Komponenten auch der Realisierung dienende konkrete Hinweise auf marktgängige Produkte unterbreitet wurden.

Die hier vorgestellten Stromversorgungssysteme gewährleisten nicht nur eine klimafreundliche Energieversorgung bei vollständiger energetischer Autarkie und eine vollständig freizügige Platzierung solcher Energiesysteme, sondern bieten ebenfalls ein hohes Maß an Sicherheit gegenüber Black Outs im Netz sowie Angriffen von Hackern.

Die lösungsgemäße Entbehrlichkeit eines Anschlusses an ein vor Ort zugängliches Öffentliches Stromnetz mit unklarer Energieherkunft des vorgestellten Lösungskonzepts eröffnet unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten. Dazu gehören neben Interessenten von solar betriebenen Inselnetzen, die besonderen Wert auf Eigenständigkeit, Klimaverträglichkeit und energetische Autarkie legen, vor allem Betreiber von Inselnetzen in abgelegenen Gebieten, die keinen Zugang zum Öffentlichen Stromnetz haben. Zu den potenziellen Nutzern zählen nicht nur die Betreiber abseits liegender Wohnanlagen, sondern vor allem auch Bewohner kleinerer Inseln, wie beispielsweise den vielen besiedelten Schären zwischen Schweden und Finnland. Der vorliegende Lösungsvorschlag könnte ebenfalls Anregungen für die zukünftig zu erwartende Umstellung der Hochseeschiffe auf die Verwendung regenerativer Energien bieten. Damit könnten nicht nur eine kontinuierliche Stromversorgung, sondern womöglich auch ein vollelektrischer Antrieb ermöglicht werden.

Zur Umsetzung des hier vorgestellten innovativen Konzepts der solaren Stromerzeugung mit integrierter Wasserstofftechnologie wird es aber noch einiger Entwicklungsarbeit bedürfen, ehe komplette Systemlösungen im Angebot stehen.

Literatur

- [1] N. N.: Nissan wertet E-Motor im Hybridsystem auf. Berliner Zeitung Nr. 266 12./13. 11.'16, S. B14
- [2] <http://www.planet-wissen.de/technik/energie/brennstoffzelle/index> . . .
- [3] https://wlw.de/de/firmen/brennstoffzellen?q=brennstoffzellen&utm_camping
- [4] <http://www.bhkw-infozentrum.de/statment/neuebrennstoffzellen>
- [5] <http://www.wlw.de/de/profile/friedrich-rath-co-kg-844783>
- [6] <http://www.heizung.de/brennstoffzelle/wissen/herstellung-von-wasserstoff-für-die-brennstoffzelle>
- [7] <http://www.bergzeit.de/ Hydrogen-Reaktor>
- [8] <https://www.now-gmbh.de/content/5-service/2-mediathek/nip-wasserstoff-und -brennstoffzellentech>